

Analizador Virtual de FM para el control de la calidad de transmisión de emisoras de radio en FM estéreo

Ing Oscar Bonello
Solidyne
Universidad de Buenos Aires, AES Fellow Member

INTRODUCCION

Es incuestionable la importancia de medir los parámetros técnicos de una transmisión de FM. Algunos de ellos, como el porcentaje de modulación, nivel de tono piloto, modulación residual de AM, intensidad de campo, etc son objeto de severas normas de regulación por su capacidad potencial de generar interferencia a terceros. Otras, como la separación de canales, relación señal-ruido, distorsión armónica, respuesta a frecuencias, etc son los responsables de la sensación de “calidad de sonido” percibida por el oyente (y que afecta a los ingresos de la emisora). Hasta el momento no existía ningún equipo que permitiera medir la totalidad de los parámetros técnicos de una transmisión de FM. En realidad, para medir unos pocos de ellos era necesario invertir mucho dinero en diversos instrumentos, de operación manual, ubicados dentro de la propia planta transmisora, así como considerable cantidad de esfuerzos de ingenieros y técnicos.

La situación precedente se agravó considerablemente en los últimos años por dos razones. Por un lado el desarrollo de cadenas de radios de FM enlazadas por satélite hace necesario controlar radios ubicadas a cientos o miles de kilómetros de la estación cabecera. Esto es imposible con instrumental convencional. Por otro lado la feroz competencia entre estaciones de radio de FM hace necesario controlar no solamente la propia radio sino tener información sobre las de la competencia. Las normas de autorregulación que la civilización moderna introduce en los mercados son solamente posibles cuando el acceso a la información es abierto.

Por estas razones, hemos invertido un considerable esfuerzo de investigación a lo largo de 2 años, para crear un sistema práctico, que pudiera llegar al mercado a un precio moderado, y que permitiera controlar todos los parámetros técnicos que definen una transmisión de FM estéreo. El control se realiza tomando la señal de aire de cualquier emisora de FM dentro de su radio de cobertura primaria, mediante un receptor digital de FM con capacidad de procesado digital de la información, realizado en forma autónoma. Este receptor digital es conectado a una PC convencional mediante un cable RS-232 para permitir leer en pantalla los 16 instrumentos que brindan los datos, así como registrar en forma permanente la información e imprimirla posteriormente. El software opera en Windows-95, permitiendo el uso simultáneo de la PC con otros programas.

Asimismo, para controlar emisoras fuera de su área de cobertura (por ejemplo ubicadas en otras ciudades), se ha creado un módem automático que permite ubicar el Receptor Remoto como si fuera una máquina de FAX. De esta manera la PC se conecta telefónicamente con el Receptor y podemos obtener los datos en forma totalmente remota en la pantalla de la PC; incluso escuchar la señal de audio de la emisora de FM. De esta manera es posible controlarla no sólo desde un aspecto técnico (calidad de transmisión y de sonido) sino desde aspectos legales y comerciales (cumplimiento de horarios, rotación de anuncios comerciales, uso del lenguaje, etc). Para escuchar a una radio de FM determinada (propia de la cadena o de la competencia) ni siquiera hace falta una PC, pues desde cualquier aparato telefónico con discado DTMF podemos activar el Receptor Digital.

El sistema descrito ha sido desarrollado por Solidyne siendo comercializado con el nombre de VA-16 (Virtual Analyzer-16).

MEDICION DE LOS PARAMETROS DE TRANSMISION

Los 16 parámetros técnicos que este sistema permite medir cubren tres áreas básicas:

1) Transmisión de la señal; 2) Calidad de Audio; 3) Operación de la Radio

Dentro de la primer área, el control de los parámetros de la transmisión efectuados es el siguiente:

- a) **Porcentaje de Modulación:** se mide el valor exacto de pico máximo instantáneo o con pesada de 2 ms
- b) **Desviación de Frecuencia:** se mide en khz con retención muy lenta de la máxima desviación
- c) **Picos reiterados:** Se mide la cantidad de veces por minuto en que la modulación supera el 105 % Esto permite evaluar el cumplimiento de ciertas normas de transmisión (como la FCC de USA), que permiten sobremodular solamente en condiciones transitorias.
- d) **Intensidad de Campo:** se mide en dB/uV y para que este valor tenga una razonable exactitud, se debe afectar al receptor de un coeficiente de corrección para compensar la ganancia de la antena interna y su posición dentro del edificio.
- e) **Desviación de Portadora:** mide la desviación en khz de la portadora de la FM con una precisión de +/- 0,2 khz
- f) **Nivel de señal piloto:** mide en porcentaje el nivel de la señal de 19 khz
- g) **Error de frecuencia de la señal piloto:** mide con precisión de +/- 0.5 hz el error en la frecuencia de 19 khz.
- h) **Modulación residual de AM:** mide el nivel, en dB relativos a 100 %, de la modulación residual de AM. En un transmisor bien ajustado este valor debe estar por debajo de - 50 dB. Fallas de ajuste, antenas con ROE, humedad en el coaxial, problemas en los divisores de potencia, etc pueden deteriorar este valor.
- i) **Analizador de Espectro:** Esta medición permite determinar si el espectro de transmisión de la portadora modulada cumple con las condiciones de operación impuestas por la legislación de cada país. El Receptor Digital obviamente también mide toda otra señal presente en el canal, por lo que esta medición es exacta solamente dentro del campo de alcance primario de una radio. Para realizar esta medición, el Receptor Digital modifica su ancho de banda habitual (300 khz) por otro angosto de sólo 10 khz
- j) **Scanner de banda:** Permite mostrar en pantalla (o imprimir) la banda completa de FM con todas las estaciones que están operando y sus niveles de intensidad de campo en dB/uV De esta forma se analizan las intensidades colocadas en las diferentes áreas en las que el VA-16 sea operado y su comparación con las señales de estaciones competidoras.

MEDICION DE LA CALIDAD DE AUDIO

Los parámetros de calidad de audio medidos son los siguientes:

- a) **Nivel de audio L y R:** VU-metro con lectura doble de nivel de audio medio y pico
- b) **Nivel de audio L+R y L-R:** Activando un botón puede medirse el nivel suma y diferencia de los canales L y R
- c) **Nivel de Ruido L y R:** El ruido de fondo es medido y expresado en dB(A) referidos al 100 % de modulación. Para ello se dispone de un filtro de pesada “A” que mide entre 30 hz - 10 khz. El procesador DSP toma 10 muestras por segundo y retiene siempre en memoria el valor máximo de S/N. De esta manera durante los breves fragmentos de silencio (100 ms son suficientes), se mide la relación señal/ruido para ambos canales estéreo. No es necesario por lo tanto tener una señal especial de prueba ni cortar la transmisión.
- d) **Separación de canales L y R:** con una metodología similar a la medición de S/R, se mide la separación entre canales. En este caso se compara en forma instantánea la señal en canal L con la residual en canal R. Y su inversa. Los valores máximos son almacenados y presentados en pantalla. Al cabo de cierto tiempo el valor se estabiliza indicando la separación de canales. Tampoco en este caso se requiere de una señal de prueba.
- e) **Potencia Efectiva con Procesado**

Este importante parámetro es medido por primera vez en transmisiones de FM. Su objeto es informar al ingeniero de la radio de FM acerca de la efectividad de la cadena procesadora de audio. Esta Potencia Efectiva con Procesado (denominada RRP, Relative Radiated Power) es una magnitud relativa. La unidad de Potencia RRP indica “la potencia de RF nominal de la estación de FM usando un compresor de audio de ataque instantáneo y recuperación lenta, de banda ancha” Un compresor de este tipo tiene con palabra humana o música una relación entre el pico de la señal y el promedio de programa de alrededor de 12 dB. Este es el valor que hemos tomado como referencia. Al emplear modernos procesadores multibanda con simetrizadores de picos y recortadores, la relación entre el pico y el valor promedio de la señal de programa va creciendo. Esto indica que estamos radiando más potencia en las bandas laterales (que son las que finalmente llegan a los receptores). Es decir, como es sabido, que convertimos potencia de RF de portadora (que no transmite información) en potencia de bandas laterales, que si la transmite información. Este fenómeno es el que permite que los modernos procesadores de audio incrementen el alcance de una radio de FM. Pero hasta el momento este efecto era conocido pero no existía un método de medición práctico. El primer método teórico fue propuesto por el autor hace bastante tiempo (New Improvements in Audio Signal Processing, O.Bonello, AES Journal, New York, June/1976); sin embargo recién ahora existe un dispositivo capaz de medirlo en forma económica y eficiente. La medición se basa en que siendo la potencia radiada en bandas laterales proporcional a la potencia de audio demodulada, será proporcional al cuadrado de la tensión de audio demodulada, V_a Es decir que la potencia instantánea es:

$$P_w = K.V_a^2$$

Siendo K una constante de proporcionalidad cuyo valor no interesa pues mediremos potencia relativa y no absoluta. Para conocer la potencia desarrollada a lo largo del tiempo por una señal de audio procesada debemos integrar esta potencia instantánea de esta manera:

$$P(w) = \int_0^t K.V_a^2 dt$$

El receptor digital del VA-16 realiza con su computador interno esta integral en forma continua, limitando a unos pocos segundos el período de integración y mostrando continuamente el resultado, en valores relativos $P(w) / P(\text{ref})$ siendo P(ref) el valor obtenido con esa misma señal si hubiera tenido una relación pico/promedio de 12 dB, correspondiente a un compresor monobanda.

La indicación del instrumento VA-16 implica el factor de multiplicación de la potencia del transmisor. Por ejemplo si un transmisor de 1 KW indica un valor de RRP de 2,5 esto indica que con ese procesador (y ese ajuste de procesado), tendrá la misma área de cobertura que un transmisor de 2,5 KW equipado de un compresor de audio convencional. Otra aplicación es comparar distintos ajustes de procesado. Por ejemplo: una radio posee un transmisor de 10 KW y opera con un RRP de 1,5. Si ahora modifica el programa de su procesado para obtener RRP=2 esto quiere decir que ha incrementado su potencia efectiva, a $10 \times 2,0 / 1,5 = 13,3 \text{ KW}$ O bien que tendrá el mismo alcance si reduce su potencia a:

$$10 \times 1,5 / 2,0 = 7,5 \text{ KW}$$

f) Vector de Fase Estéreo

Una importante parámetro de la calidad de la transmisión es el Vector de Fase, pues indica el grado de *sensación estéreo* que la radio de FM transmite. Esto está vinculado, claro está al índice de satisfacción que el oyente experimenta y a la sensación de calidad sonora. A la larga esto afecta también (para bien o para mal) los ingresos de la radio.

El indicador del Vector de Fase está calibrado en **grados de diferencia de fase**. Esto simplifica enormemente la comprensión de los valores leídos, por parte de los técnicos de la radio. Es decir que si ingresamos dos ondas senoidales de la misma frecuencia en L y en R lo que nos mostrará el Vector de Audio es la posición del vector en un cuadrante de 180 grados y abajo indica la diferencia de fase. Es decir que si el valor es de 90 grados marca un segmento vertical en el cuadrante. Si la diferencia de fase es de cero grados (señal mono) marcará un segmento horizontal en el cuadrante derecho. Nos preguntamos, sin embargo, qué ocurre cuando no se trata de ondas senoidales sino de señales complejas como la música y la palabra. En este caso lo que el VA-16 indica es un valor algo más complejo de definir que es la *correlación de fase* entre dos funciones (en este caso la señal de canal izquierdo y la de canal derecho). La correlación cruzada entre la señal de canal izquierdo $V_L(t)$ y la de canal derecho $V_R(t)$ está dada por:

$$R_{L,r} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T V_L(t).V_R(t)dt$$

Este valor de correlación entre dos señales complejas variables en el tiempo alcanza su máximo valor cuando las dos señales son *iguales* (señal monoaural). El cálculo de esta función y su expresión final en grados se realiza internamente en el computador interno del receptor del VA-16. Un interesante dato adicional que esta técnica de medición nos brinda es la posibilidad de detectar la *inversión de fase* entre

ambos canales. Esto produce un molesto efecto en la recepción de FM, particularmente en los pequeños receptores tipo radiograbadores en que por operar en mono, se cancelan las voces de los cantantes, locutores de la radio y hasta las noticias. La medición del Vector de Fase presenta entonces, pese a la complejidad del tema, una manera sencilla de ver en forma gráfica la sensación de efecto estéreo que experimentará el oyente. Cuanto mayor sea el valor en grados de vector de fase mejor será el efecto. Una radio con poco efecto estéreo tendrá valores menores a 60 grados, Un buen efecto se logra entre 60 y 90 grados y uno excelente superando los 110 grados.

g) Respuesta a Frecuencias

La respuesta a frecuencias es el único de los parámetros medidos por el VA-16 que exige una señal de prueba. Sin embargo, lejos de tener que detener la transmisión para medirla, es posible hacerlo mientras se está en el aire con programación normal.

El primer tema a considerar es el del comportamiento del procesador de audio. Cuando un ingeniero de sonido realiza ensayos de respuesta, lo normal es colocar en *respuesta plana* al procesador. Esto nos brinda curvas muy planas... pero que nada tienen que ver con la realidad. Esto es debido a que los modernos procesadores incorporan ecualizadores de audio dinámicos (los compresores por bandas son esencialmente ecualizadores dinámicos) y dependiendo del ajuste de la radio será la respuesta obtenida. La tecnología que hemos desarrollado para una medición real y efectiva es la siguiente. Se entregan al usuario del sistema de medición 8 archivos digitales (formato .wav) de audio de 6 segundos de duración. En el canal izquierdo tienen grabados los tonos de audio, cada uno de ellos con una frecuencia distinta desde 30 hz a 15 khz. El nivel de grabación es reducido para no molestar al oyente y para no saturar al transmisor. A su vez en el canal derecho se graba un arpegio musical que está especialmente reprocesado para tener una energía espectral plana, medido con analizador en tercios de octava. Los archivos de prueba son mezclados con los anuncios comerciales o los promocionales de la radio. Lo normal es colocar uno por hora. De esa manera en ocho horas tenemos el resultado, sin que la audiencia note que estamos realizando ensayos, pues solamente escuchará un arpegio de 6 segundos y en algunos casos un tono de audio (en las frecuencias extremas el tono es enmascarado por el arpegio). Estos archivos son incorporados al sistema de audio digital en PC que se emplea para enviar al aire las tandas publicitarias. Para aquellas radios que operan en forma manual, también se entregan, grabados en el CD-rom en formato estandar de Compact Disc, los mismos cortes de audio de prueba. Para su análisis por el VA-16, cada uno de los cortes de audio tiene un tono piloto de diferente frecuencia en la banda de 2 a 3 khz, precediendo a la frecuencia a medir. Cada frecuencia del tono piloto indica en cual frecuencia será realizada la medición. El receptor realiza en forma permanente un análisis espectral DSP del canal izquierdo para detectar la presencia del tono piloto. De esta manera diferencia el material de programa del test de frecuencia. Cuando detecta al tono piloto y por consiguiente el valor de frecuencia al cual será realizado el test, procede a medir el nivel de audio de la frecuencia de test (entre 30 y 15.000 hz), transmitida a continuación del tono piloto, almacenando su valor en una memoria. Cuando se completan los 8 valores, los mismos pasan a la PC para ser vistos por el usuario en forma de curva y también impresos en color si se desea.

El procedimiento de medición parte del hecho de que los procesadores de audio analizan los dos canales por separado, pero **toman una decisión conjunta** que involucra el mismo valor de compresión o ecualización para el canal izquierdo y el derecho. Esto se hace para no alterar la percepción de la ubicación de instrumentos en el campo estereofónico. Por lo tanto al recibir el arpegio, que por su mayor nivel gobierna a ambos canales, la compresión por bandas adquiere la máxima planicidad porque la energía en cada banda es la misma (de hecho, el arpegio tiene el mismo espectro que el *ruido rosado*). Es en esas condiciones ideales que el VA-16 mide la respuesta a frecuencias,

indicando el valor *real* de la cadena existente entre la consola y el transmisor de audio. Por primera vez este valor incluye la ecualización dinámica del procesador de audio.

h) Distorsión armónica

Es indudable la importancia de la medición de este parámetro. Sin embargo, hasta el momento se había considerado imposible lograr hacerlo sin interrumpir la transmisión para colocar una señal de prueba (onda senoidal de 1 khz). En el presente desarrollo se investigó muy a fondo este tema intentando darle una solución que al principio resistió los mejores esfuerzos. La señal normal de programa de una radio dista mucho de ser una onda senoidal pura que pudiera servir para medir sus componentes armónicas. Por otro lado los armónicos de una señal entre 30 hz y 15 khz se encuentran o bien enmascarados por la propia señal o bien fuera de banda (arriba de 15 khz en donde son enmascarados por la banda de señal [L-R] centrada en 38 khz). A todas luces aparece como imposible la medición directa de las armónicas. Sin embargo, durante la exhaustiva investigación realizada apareció un fenómeno concurrente con el proceso de distorsión de las armónicas pares: la aparición de componentes subsónicas debidas a la componentes de CC (corriente continua) y productos de intermodulación vinculados al proceso de distorsión armónica. Para aclarar los conceptos analicemos el caso de una señal de programa muy simple compuesta por dos ondas senoidales puras de frecuencia f1 y f2. Esta señal de entrada a nuestro sistema queda definida por:

$$V_i = \text{sen } \omega_1 t + \text{sen } \omega_2 t$$

Siendo $\omega = 2\pi f$

Si ahora ingresamos esta señal a un sistema con distorsión de segundo orden (típico de los moduladores con varicap de un transmisor de FM) definida por: $V_o = A(V_i + D \cdot V_i^2)$; siendo D=coeficiente de alinealidad; A=ganancia del sistema, que consideraremos unitaria.

Introduciendo la señal Vi en la transferencia del sistema obtendremos:

$$V_o = \text{sen } \omega_1 t + \text{sen } \omega_2 t + D(\text{sen}^2 \omega_1 t + 2 \text{sen } \omega_1 t \cdot \text{sen } \omega_2 t + \text{sen}^2 \omega_2 t)$$

Introducimos en la ecuación anterior las siguientes identidades trigonométricas:

$$2 \text{sen}^2 \alpha = 1 - \cos 2\alpha$$

$$2 \text{sen } \alpha \cdot \text{sen } \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

Quedando finalmente:

$$V_o = \underbrace{\text{sen } \omega_1 t}_{\text{Fundamentales}} + \underbrace{\text{sen } \omega_2 t}_{\text{CC}} + D \left[\underbrace{1 - \frac{1}{2} \cos 2\omega_1 t}_{\text{2da armónica de f1 y f2}} - \underbrace{\frac{1}{2} \cos 2\omega_2 t}_{\text{Diferencia f1-f2}} + \cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t \right]$$

Puede notarse la aparición de una componente de CC asociado al valor **D** de distorsión por segunda armónica, así como una componente de diferencia de frecuencia. Estas componentes están ubicadas *fuera de la banda de la señal de programa* y por lo tanto no son enmascaradas por esta. Cabe la posibilidad, entonces, de emplear un filtro subsónico muy selectivo para recuperar las señales presentes

en la transmisión por debajo de 4 hz, llegando hasta CC. Esta señal subsónica contendrá componentes proporcionales a la distorsión armónica. Sin embargo para que de ellas pueda extraerse un valor porcentual se debe correlacionar el valor de las mismas con el de la señal de audio presente en el programa musical o en la palabra del locutor. Está fuera del alcance del presente trabajo la descripción de los algoritmos de correlación creados para este efecto y que son efectuados por procesado digital DSP dentro del sistema VA-16. Es importante, sin embargo, haber puntualizado la manera en que a partir de una señal de programa es posible, mediante una tecnología especial, obtener el valor de la distorsión armónica, cosa que en general era considerada como casi imposible en la literatura técnica corriente.

MEDICION DE LOS PARAMETROS DE OPERACION DE LA RADIO

El sistema propuesto guarda los resultados de los análisis en el Hard Disk de la PC para su análisis posterior. Se realiza un promedio por cada hora de transmisión para ser presentados en gráficos durante las 24 horas del día, pudiendo almacenarse información durante muchos meses.

Son almacenados: 1) Promedio de Energía Radiada; 2) Valor máximo de la modulación; 3) Baches de silencio (mayores de 3 seg); 4) Fase Invertida; 5) Promedio de nivel L & R; 6) Promedio del Vector de Fase (sensación estéreo)

Con esto se completa de una manera eficiente y económica un control total de la calidad de emisión de una radiodifusora de FM estéreo.

MEDICION REMOTA

El modelo VA-16/MD tiene salida RS-232 para un módem externo US Robotics. También una salida de audio que se conecta a la entrada de *Phone Set* del módem. El conjunto VA-16/MD + Módem se conecta a una línea telefónica, tal como si se tratara de una máquina de FAX. No requiere del uso de una PC. Puede accederse al VA-16 de dos maneras. Una es mediante un teléfono común con teclado de tonos, desde cualquier lugar del mundo, se llama a esa línea y se escucha el audio de la emisora, pudiendo cambiarse de emisora mediante el teclado telefónico. Esto es muy útil para que las agencias de publicidad controlen los avisos enviados al aire.

La segunda manera de acceder, es mediante una PC con el software VA16 Remote. Al llamar a la línea telefónica a la que el VA-16/MD está conectado, cuando el módem atiende, reconoce al software de control y transmite todos los datos de medición los que pueden verse en la pantalla igual que si el VA-16 estuviera al lado de la PC. Asimismo puede pasarse al modo AUDIO y escuchar el sonido de la radio remota con el teléfono asociado al módem o con un parlante amplificado; pasando del modo AUDIO al de DATOS todas las veces que sea necesario.

Es indudable la utilidad de esta tecnología para el control y evaluación de las cadenas satelitales, o para controlar la llegada de una radio a zonas alejadas y asimismo el comportamiento de la competencia.

NOTA: el presente artículo podrá ser reproducido indicando expresamente el autor y empresa patrocinante.